

# Röntgengerät 35 kV, Grundgerät

09058.99

PHYWE Systeme GmbH & Co. KG
Robert-Bosch-Breite 10
D-37079 Göttingen

Phone +49 (0) 551 604-0
Fax +49 (0) 551 604-107
E-mail info@phywe.de
Internet www.phywe.de




Abb. 1: Frontansicht des Röntgengerätes 09058.99 mit eingebautem Goniometer 09058.10.



**Betriebsanleitung**

**Inhaltsverzeichnis** Seite

## A ALLGEMEINES

### 1. Auflagen der Röntgenverordnung (RöV)

Der Betrieb des Röntgengerätes unterliegt in der Bundesrepublik Deutschland den Vorschriften der Röntgenverordnung (RöV). Nach dieser Verordnung erfüllt das Gerät die verbindlich festgelegten Bedingungen, sowohl die eines **Schulröntgengerätes** als auch die eines **Vollschutzgerätes**.

Der Betrieb des Gerätes ist genehmigungsfrei aber anzeigepflichtig. Zur Anzeige ist das Prüfzertifikat und eine Kopie der Bauartzulassung bei der zuständigen Behörde einzureichen.

Der Betrieb des Gerätes darf nur von entsprechend geschultem und eingewiesenem Personal vorgenommen werden.

Bei maximal anliegenden Betriebsdaten beträgt die Ortsdosisleistung in einem Abstand von 0,1 m von der berührbaren Gehäuseoberfläche weniger als 1 µSv/h. Dieser Wert entspricht in etwa der natürlichen Strahlenbelastung.

**Zwei voneinander unabhängig arbeitende Sicherheitskreise** überwachen das Öffnen der Schiebetür zum Experimentierraum. Eine Erzeugung von Röntgenstrahlung ist nur bei ordnungsgemässer Verriegelung der Schiebetür möglich.

Die Überschreitung der maximal zulässigen Röhrenbetriebswerte wird durch Sicherheitsschaltungen unterbunden.

Die Betriebszulassung erlischt, sobald Manipulationen am Röntgengerät vorgenommen werden, die nicht zum Aufbau oder zur Durchführung von Experimenten dienen. Unter keinen Umständen dürfen die Sicherheitsschrauben des Stahlblechgehäuses gelöst werden. Reparaturen dürfen ausschliesslich nur vom Hersteller durchgeführt werden.



**Warnung**

Da Röntgengeräte gesundheitsgefährdende Strahlung erzeugen, darf eine Inbetriebnahme des Röntgengerätes nur von entsprechend unterwiesenem und qualifiziertem Personal vorgenommen werden.

Während des Umgangs mit dem Röntgengerät sind die verbindlich festgelegten Maßnahmen und Pflichten der Röntgenverordnung strengstens zu befolgen.

Der Betreiber hat besonders darauf zu achten, dass

- das Röntgengerät vor dem Zugriff Unbefugter geschützt ist
- das Gerät nicht länger als nötig in Betrieb ist
- Personen bei arbeitendem Gerät sich nicht länger als nötig in dessen unmittelbarer Nähe aufhalten.

Der Betrieb des Gerätes ist untersagt, wenn

- die Schiebetür aus bleihaltigem Acrylglas zum Öffnen des Experimentierraumes als auch das Schutzglasfenster zur Beobachtung der Röntgenröhre sowie der Fluoreszenzschirm beschädigt sind.
- der Lüfter auf der Röhreneinschubseite im Inneren des Gerätes nicht arbeitet (akustische Prüfung)
- die Sicherheitskreise zum Unterbrechen des Röhrenbetriebs beim Öffnen der Schiebetür nicht einwandfrei arbeiten.

### 2. Sicherheitshinweise



- Vor Inbetriebnahme des Gerätes ist die Betriebsanleitung sorgfältig und vollständig zu lesen. Sie schützen sich und vermeiden Schäden an Ihrem Gerät.
- Achten Sie darauf, dass die auf dem Typenschild des Gerätes angegebene Netzspannung mit der Ihres Stromnetzes übereinstimmt.
- Das Gerät ist so aufzustellen, dass Netzschalter bzw. Gerätestecker frei zugänglich sind. Die Lüftungsschlitze des Gerätes dürfen nicht abgedeckt werden.
- Achten Sie darauf, dass keine Flüssigkeiten oder Gegenstände in die Lüftungsschlitze des Gerätes gelangen.
- Das Gerät ist nur zum Betrieb in trockenen Räumen, die kein Explosionsrisiko aufweisen, vorgesehen.
- Das Gerät nicht in Betrieb nehmen, wenn das Netzkabel oder Gerät beschädigt ist.
- Verwenden Sie das Gerät nur für den dafür vorgesehenen Zweck.



**Vorsicht!**

- **Beim Einbau des Goniometers darf das Goniometerkabel nur an die SubD-Buchse auf der Grundplatte des Experimentierraums angeschlossen werden, wenn das Grundgerät abgeschaltet ist.**
  **Ebenso darf beim Ausbau des Goniometers das Goniometerkabel nur bei ausgeschaltetem Grundgerät gelöst werden**.
- **Vor einem Einschubwechsel ist zuerst mit Taste „HV-ON“ der Betrieb der Röntgenröhre zu unterbrechen.**

### 3. Betriebshinweise

Das vorliegende Qualitätsgerät erfüllt die technischen Anforderungen, die in den aktuellen Richtlinien der Europäischen Gemeinschaft zusammengefasst sind. Die Produkteigenschaften berechtigen zur CE-Kennzeichnung.

Der Betrieb dieses Gerätes ist nur unter fachkundiger Aufsicht in einer beherrschten elektromagnetischen Umgebung von Forschungs-, Lehr- und Ausbildungsstätten (Schulen, Universitäten, Instituten und Laboratorien) erlaubt.

Dies bedeutet, dass in einer solchen Umgebung Sendefunkeinrichtungen, wie z. B. Mobiltelefone nicht in unmittelbarer Nachbarschaft verwendet werden dürfen. Die einzelnen angeschlossenen Leitungen dürfen nicht länger als 2 m sein.

Durch elektrostatische Aufladungen o.ä. elektro-magnetische Phänomene (HF, Burst, indirekte Blitzentladungen usw.) kann das Gerät beeinflusst werden, so dass es nicht mehr innerhalb der spezifizierten Daten arbeitet. Folgende Maßnahmen vermindern bzw. beseitigen den störenden Einfluss: Teppichboden meiden; für Potentialausgleich sorgen; Experimentieren auf einer leitfähigen, geerdeten Unterlage, Verwendung von Abschirmungen, abgeschirmte Kabel. Hochfrequenzsender (Funkgeräte, Mobiltelefone) nicht in unmittelbarer Nähe betreiben. Nach einem Totalausstieg durch Betätigung des Netzschalters einen „Reset“ durchführen.

Dieses Gerät entspricht der Klasse A, Gruppe 1, der Norm EN 55011 und darf nur außerhalb von Wohnbereichen uneingeschränkt betrieben werden. Sollten trotz Beschränkung des Einsatzes auf den Fachraum einer Schule oder einer anderen Ausbildungsstätte im umgebenden Wohnbereich elektromagnetische Störungen auftreten, so kann vom Betreiber verlangt werden, angemessene Maßnahmen (z.B. Abschirmung, große Abstände zu empfindlichen Geräten, kurze Betriebsdauer, kürzestmögliche Verbindungsleitungen usw.) durchzuführen und dafür aufzukommen.

**4. Zweck des Gerätes**

Das Röntgengerät ist ein speziell für die Erfordernisse der Ausbildung in Schule und Hochschule entwickeltes Demonstrations- und Praktikumsgerät und kann neben der Physikausbildung auch in der Medizintechnik und benachbarten technischen Disziplinen eingesetzt werden. Das mikroprozessorgesteuerte Kompaktgerät zeichnet sich besonders dadurch aus, dass durch die Verwendung einer Röntgenröhren-Schnellwechseltechnik Experimente mit verschiedenen Röntgenröhren mit unterschiedlichem Anodenmaterial durchgeführt werden können.

Es stehen wahlweise folgende Röntgenröhren, die in speziellen Einschüben betriebsbereit eingebaut sind, zur Verfügung:

- Einschub mit Cu-Röntgenröhre Best.-Nr. 09058.50
- Einschub mit Mo-Röntgenröhre Best.-Nr. 09058.60
- Einschub mit Fe-Röntgenröhre Best.-Nr. 09058.70

Neben einfachen Durchleuchtungsexperimenten und Experimenten zur Dosimetrie können mit Hilfe des bereits eingebauten Ratemeters und des zusätzlichen Goniometers spektroskopische Experimente zur Atomphysik und Festkörperphysik durchgeführt werden. Zur Registrierung von Röntgenspektren können ein XY-Schreiber oder ein Computer direkt angeschlossen werden. Die Einstellung aller Betriebs- und Steuerungsparameter erfolgt entweder manuell oder mit Hilfe eines Computers.

Zwei demonstrative Digitalanzeigen dienen sowohl zur Darstellung aller Betriebs- und Steuerungsparameter als auch zur Messwertanzeige.

Mit dem Gerät und entsprechenden Zusatzkomponenten lassen sich folgende Versuche durchführen:

– Durchstrahlung von Objekten durch Beobachtung mit Hilfe eines Leuchtschirms
– Herstellung von Röntgenaufnahmen von durchstrahlten Objekten
– Nachweis der Ionisationswirkung von Röntgenstrahlen (Dosimetrie)
– Nachweis der Bragg-Reflektion
– Registrierung von Röntgenspektren
  Bestimmung der charakteristischen Röntgenlinien verschiedener Anodenmaterialien (Cu, Mo, Fe),
  dadurch Verifizierung des Moseley-Gesetzes
– Nachweis der charakteristischen Linien $K\alpha 1$ und $K\alpha 2$ in Beugung höherer Ordnung
– Monochromatisierung von Röntgenstrahlen mit Hilfe von Einkristallen oder von Metallfolien
– Kristallstrukturanalyse mit Hilfe der Röntgenspektroskopie, der Laue- und der Debye-Scherrermethode
– Bestimmung des Planckschen Wirkungsquantums aus der kurzwelligen Grenze des Bremsspektrums (Duane-Hunt`sches Verschiebungsgesetz)
– Bestimmung der Rydbergkonstanten
– Bestimmung von Absorptionskoeffizienten als Funktion der Dicke und der Ordnungszahl des Absorbermaterials und der Fotonenenergie
– Nachweis von Absorptionskanten
– Demonstration der Wirkungsweise von Kontrastmitteln in der Medizin
– Comptonstreuung

**B BESCHREIBUNG DER GERÄTEKOMPONENTEN**

**1. Grundgerät (Abb. 2)**

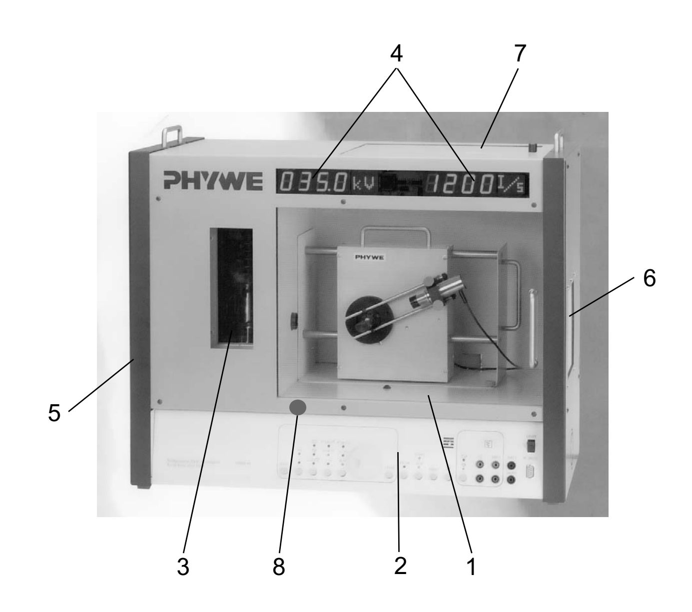



Abb. 2: Grundgerät (09058.99) mit eingebautem Goniometer (09058.10).

Das Grundgerät enthält folgende Funktionseinheiten:

1 *Experimentierraum*
zur Aufnahme von Zusatzkomponenten wie z.B. dem Goniometer oder weiterem Experimentiermaterial

2 *Bedienfeld*
zur Einstellung aller Betriebswerte und Steuerungsgrössen, sowie zur Abnahme aller verfügbaren Messwerte

3 *Sichtfenster*
zur Beobachtung der Röntgenröhre auch während des Betriebs

4 *Digitalanzeigen*
zwei 4-stell. LED-Diplays mit Diodenmatrizen zur wahlweisen Parallelanzeige von Betriebs- und Messwerten

5 *Einschubschacht für verschiedene Röntgenröhren*

6 *Leuchtschirm*

7 *Zubehörwanne*
zur griffbereiten Aufbewahrung von Zusatzkomponenten

8 *Türverriegelung*

9 *Netzanschlusseinheit (rückseitig)*
mit Netzanschlussbuchse, Ein-Ausschalter und Sicherungsfach

**2. Experimentierraum (Abb. 3)**

Der Experimentierraum enthält folgende Funktionselemente:

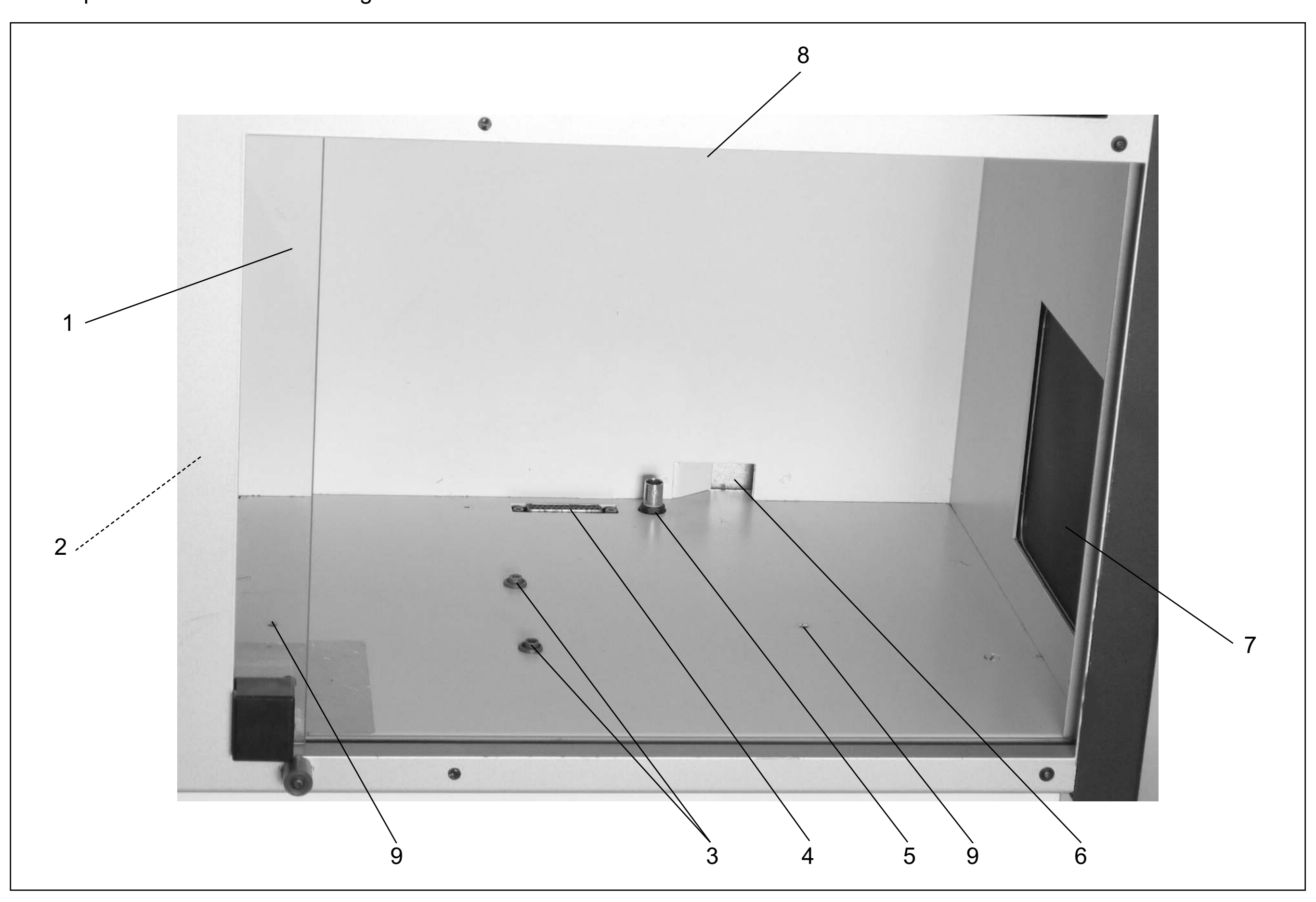



Abb. 3: Experimentierkammer 09058.99.

1 *Schiebetür*
aus bleihaltigem Acrylglas. Die Tür kann nur durch Lösen der entsprechenden Verriegelung geöffnet werden. Dazu muss der Verriegelungsknopf bis zum Anschlag eingedrückt gehalten und anschließend zum notwendigen Einrasten eine Vierteldrehung nach rechts gedreht werden. Ein Betrieb des Gerätes ist nur bei verriegelter Tür möglich. Dazu ist der Verriegelungsknopf eine Vierteldrehung nach links zu drehen.

2 *Strahlaustrittsöffnung*
zur Aufnahme von Metalltuben mit kreisförmigen Doppelblenden zur Erzeugung eines an das jeweilige Experiment angepassten Strahlenbündels.

3 *Buchsenpaar*
4 mm Steckbuchsenpaar zur Aufnahme der Kondensatorplatten (Best.-Nr. 09058.05) für Dosimetrieexperimente.

4 *SUB-D-Buchse*
zum Anschluss des einsetzbaren Goniometers; **das Goniometeranschlusskabel darf nur bei ausgeschaltetem Gerät angeschlossen werden.**

5 *BNC-Buchse*
zum Anschluss eines Geiger-Müller-Zählrohres an das interne Ratemeter.

6 *Arbeitskanal*
Durch diesen kann von außen während des Betriebs z.B. ein Kontrastmittel in den Experimentierraum eingeführt werden.

7 *Leuchtschirm*
Bleihaltiges Acrylglas mit Fluoreszenzschicht zur Beobachtung des Röntgenbildes bei Durchleuchtungsversuchen.

8 *Innenraumbeleuchtung*
zuschaltbare 24 V/10 W-Leuchte zur Beleuchtung des Experimentierraums.

9 *Gewindebohrungen zur Befestigung des Goniometers*

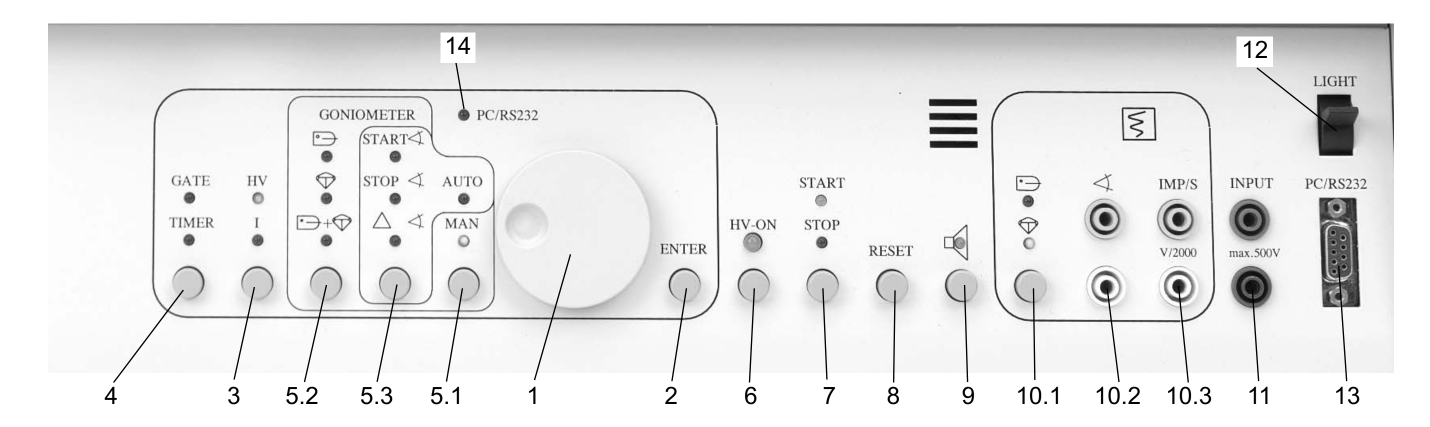



Abb. 4: Bedienfeld 09058.99.

**3. Bedienfeld (Abb.4)**

Das schräg eingelassene, gegen Scherstösse geschützte Bedienfeld enthält alle Bedienelemente zum Betrieb des Röngengerätes, einschliesslich des einsetzbaren Goniometers.

*1 Stellrad*
zur Einstellung aller variablen Funktionen. Der dynamisch arbeitende Inkrementalgeber kann vor- und rückwärts gedreht werden. Bei schnellerem Drehen wird die Schrittweite grösser. Erst nach Betätigen des Tasters “ENTER” wird der eingestellte Wert übernommen. Die mit Hilfe des Inkrementalgebers eingestellten Werte werden in der oberen linken Digitalanzeige angezeigt.

*2 Taster “ENTER”*
Zur Übernahme der durch das Stellrad eingestellten Betriebs- und Funktionswerte.

*3 Taster “HV-I”*
Durch eine wechselweise Betätigung des Tasters kann die Einstellmöglichkeit entweder für die Röhrenhochspannung (0,0 kV...35,0 kV) oder für den Emissionstrom (0,00 mA...1,00 mA) der Röntgenröhre aktiviert werden. Die Wahl der Betriebsgrösse “HV” oder “I” wird sowohl durch die zugeordneten LEDs als auch durch die Digitalanzeige kenntlich gemacht. Die gewünschten Betriebswerte für “HV” oder “I” werden mit Hilfe des Stellrades eingestellt und nacheinander abschliessend mit “ENTER” bestätigt.

*4 Taster “GATE-TIMER”*
Zur Wahl zwischen der Zählzeit “GATE” (0,5 s...100 s) des eingebauten Ratemeters oder der Belichtungszeit (1 min...1000 min.) für Röntgenaufnahmen. Die gewünschten Betriebswerte werden mit Hilfe des Stellrades eingestellt und abschliessend mit “ENTER” bestätigt. Der eingestellte “GATE”-Wert für die Zählzeit des Ratemeters ist auch gleichzeitig die Zeit für einen Winkelschritt von Zählrohr- oder Probenhalter allein oder aber für beide gemeinsam im 2:1 Koppelmodus.

*5 Bedienfeld für Goniometerbetrieb*

*5.1 Taster “MAN-AUTO”*
Zur Wahl zwischen einer manuellen oder automatischen Drehung von Zählrohr- oder Probenhalter. Im manuellen Betriebsmodus erfolgt die Drehung mit Hilfe des Stellrades.

*5.2 Taster mit Symbol für Zählrohr - Kristall - Zählrohr + Kristall.*
Zur Wahl des Antriebs von Proben- oder Zählrohrhalter allein oder synchron von beiden.

*5.3 Taster “START – STOP - °/S”*
Zur Wahl des Startwinkels “START”, des Stoppwinkels “STOP” und der Schrittweite “°/S”.
Die gewünschten Winkelwerte werden wieder mit Hilfe des Stellrades eingestellt und abschliessend mit “ENTER” bestätigt. Die gewählten Winkelwerte, sowie die aktuelle Winkelposition werden in der linken Digitalanzeige dargestellt.

*6 Taster “HV-ON”*
Mit diesem Taster werden die Röhrenhochspannung und der Emissionsstrom mit den zuvor gewählten Werten aktiviert und die rote Signal-LED- leuchtet. Ein erneutes Betätigen des Tasters schaltet die Röhrenhochspannung und die Röhrenkathodenheizung wieder ab und die LED erlischt.

*7 Taster “START-STOP”*
Zum Starten oder Stoppen des automatischen Antriebs von Probenhalter und/oder Zählrohrhalter, sowie zum Starten von Belichtungszeiten.

*8 Taster “RESET”*
Zum Zurückfahren von Zählrohr- und Probenhalter in ihre Nulllage.

*9 Taster mit Lautsprecher- Symbol*
Zum Einschalten des Lautsprechers des Ratemeters zur akustischen Ereignisanzeige.

*10 Funktionsfeld “Analogausgänge”*

*10.1 Taster mit Symbol für Zählrohr oder Kristall*
Zur wahlweisen Ausgabe der Analogspannung am Buchsenpaar *10.2* für die Winkellage von Proben- oder Zählrohrhalter.

*10.2* Buchsenpaar mit Winkelsymbol
4 mm Buchsenpaar zur Entnahme einer winkelproportionalen Gleichspannung für die Winkelposition von Proben- oder Zählrohrhalter.

*10.3* Buchsenpaar “IMP/S”
4 mm Buchsenpaar zur Entnahme einer zählratenproportionalen Gleichspannung.

*11 Buchsenpaar “INPUT”*
4 mm Buchsenpaar zum Zuführen einer Spannung (max. 500 V) in den Experimentierraum. Die Buchsen sind mit den beiden Buchsen am Boden des Experimentierraums verbunden.

*12 Schalter “LIGHT”*
Zum Ein- und Ausschalten der Innenraumbeleuchtung

*13 Buchse “PC/RS232”*
Sub-D-Buchse zum Anschluss eines PCs zur Gesamtsteuerung des Systems.
Bei belegter Buchse leuchtet nur die LED *14.* Bei Anschluss eines PCs über diese Buchse kann das Röntgengerät vollständig über die Software für Röntgenspektroskopie (Best.-Nr. 14407.61) gesteuert werden. Nach Start der Software schaltet das Gerät automatisch in den PC-Modus. Soll der PC-Modus wieder verlassen werden, muss der interne Speicher des Röntgengerätes neu initialisiert werden. Um Fehlbedienungen zu vermeiden, ist diese Initialisierung an einen Neustart des Gerätes gekoppelt - der PC-Modus kann also nur verlassen werden, wenn das Gerät aus- und wieder eingeschaltet wird.

*14 LED*
Anzeige bei belegter Sub-D-Buchse

**4. Sichtfenster**
Mit Strahlenschutzglas abgedeckte Aussparung zur gefahrlosen Beobachtung der Röntgenröhre während ihres Betriebes.

**5. Digitalanzeigen**
Zwei 4-stellige LED-Displays mit Diodenmatrizen zur wahlweisen Parallelanzeige von Betriebs- und Messwerten mit zugehörigen Einheiten.
Mit Hilfe des linken LED-Displays können wahlweise folgende Grössen angezeigt werden:

- Röhrenspannung (kV) und Emissionsstromstärke (mA)
- Start- und Stoppwinkel von Zählrohr- oder Probenhalter (mit Winkelsymbol)
- aktuelle Winkelposition von Zählrohr- oder Probenhalter (mit Winkelsymbol)
- Winkelschrittweite (mit Winkelsymbol) und Winkelgeschwindigkeit (mit Winkelsymbol/S)
- Belichtungszeiten (min)

- Nach dem Einschalten des Gerätes wird für ca. 3 Sekunden mit den Symbolen (Cu, Mo oder Fe) der benutzte Röhrentyp angezeigt.
- Das rechte LED-Display zeigt die Messrate (I/s) an.
  Die maximale Zählkapazität des internen Ratemeters beträgt (8192 = $2^{14}$) Imp/s. Wird diese überschritten, so erscheint im Display „9999“.

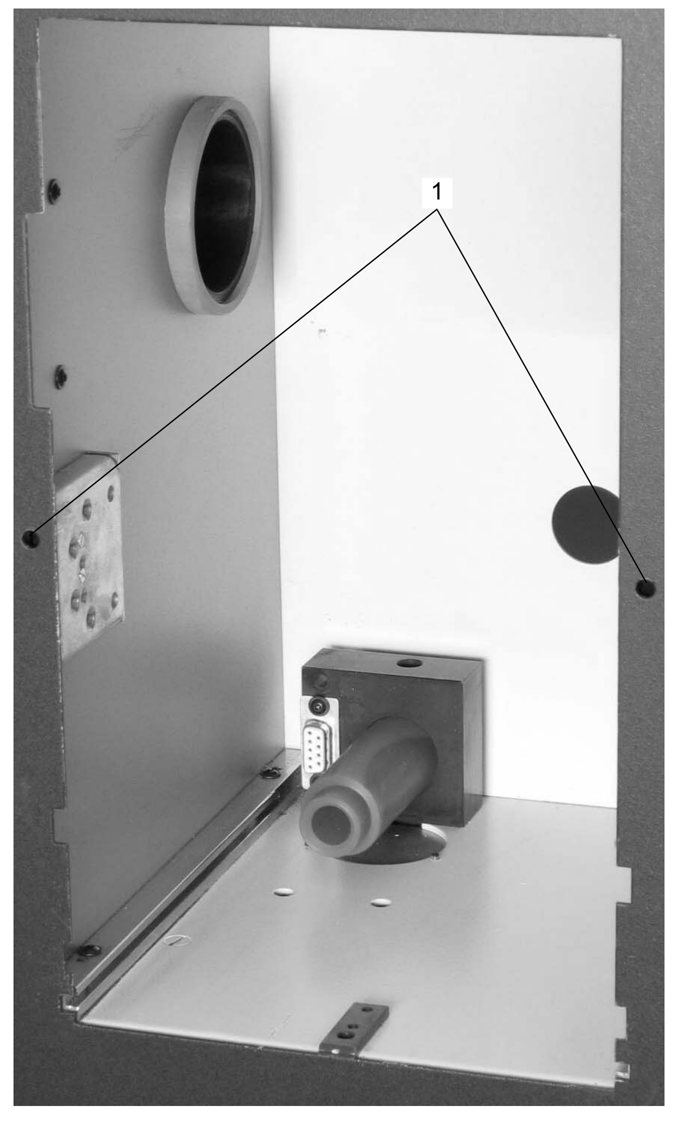



Abb. 5: Röhrenschacht 09058.99

**6. Röhrenschacht (Abb. 5)**
Auf der linken Seitenwand befindet sich der Schacht zur Aufname der konfektionierten Röntgenröhreneinschübe. Der Schacht ist seitlich mit Kupplungssteckbuchsen (*1*) und nachgeschalteten Sicherheitsschaltern versehen.
Zwei entsprechend positionierte Schaltstifte an den Röntgenröhreneinschüben sorgen dafür, dass erst bei korrektem Einsetzen eines Einschubs in den Schacht die Mikroschalter einen Sicherheitskreis für die Überwachung der Röhrenhochspannung schliessen.

**7. Zubehörwanne**
Auf der Kopfseite eingebrachte und mit einem Schiebedeckel verschliessbare Aufbewahrungsbox zur griffbereiten Lagerung von Zusatzkomponenten.

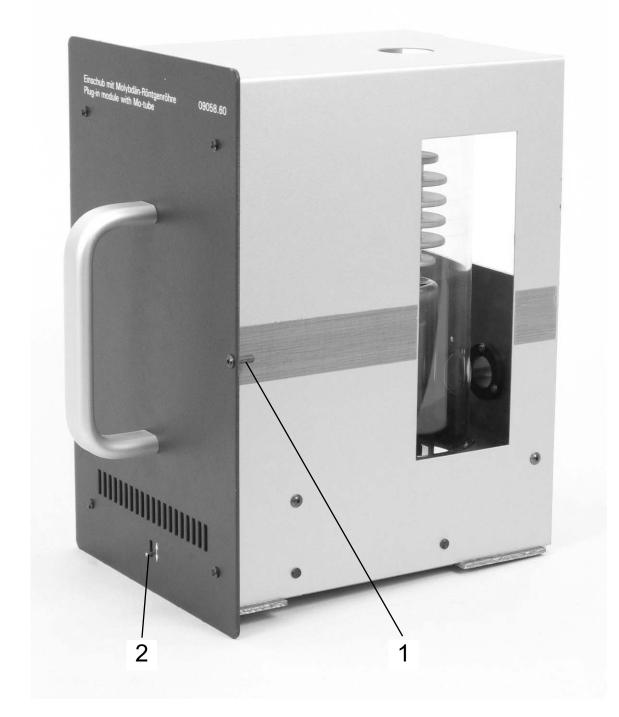



Abb. 6: Röhreneinschub

**C Röhreneinschübe (Abb. 6)**

(nicht im Lieferumfang des Grundgerätes enthalten)

Es stehen wahlweise folgende, vollkonfektionierte Einschübe zur Verfügung:

- Einschub mit Cu-Röntgenröhre Best.-Nr. 09058.50
- Einschub mit Mo-Röntgenröhre Best.-Nr. 09058.60
- Einschub mit Fe-Röntgenröhre Best.-Nr. 09058.70

(Wellenlängen und Energien der jeweiligen charakteristischen Röntgenlinien s. Anhang)

Die Einschübe bestehen jeweils aus einem Stahlblechgehäuse mit einer werksseitig justiert eingebauten Röntgenröhre.
Um eine schädliche Überhitzung während ihres Betriebs zu vermeiden, sind die Röhren von einem Zylinder aus Duranglas umschlossen, durch dessen seitlichen Ansatzstutzen eine zwangsgeführte Luftkühlung mit Hilfe des Ventilators im Grundgerät gewährleistet ist.
Die Einschübe besitzen jeweils einen HV-Stecker sowie einen Stecker für die Röhrenkathodenheizung zur Übernahme der Röhrenbetriebsgrössen aus den entsprechenden Steckbuchsen des Grundgerätes. Zwei seitlich angebrachte Metallstifte (*1*) betätigen erst bei korrektem Einsetzen eines Einschubs die entsprechenden Sicherheitsmikroschalter des Röhrenschachtes.
Am unteren Rand der Frontplatte eines jeden Einschubs befindet sich eine mechanische Arretierung (*2*), die zur Herausnahme und Einsetzen eines Einschubs durch Heben der Sicherungsklinke gelöst werden muss.

**D Goniometer ( Abb. 7)**

(nicht im Lieferumfang des Grundgerätes enthalten)
Der Goniometerblock besitzt zwei voneinander unabhängig arbeitende Schrittmotoren, mit deren Hilfe der Probenhalter (Kristalle oder Comptonstreukörper) oder der Zählrohrhalter (Geiger-Müller-Zählrohr) jeweils einzeln oder auch gekoppelt in einem Winkelverhältnis von 2:1 gedreht werden können.

 **Vorsicht**

**<u>Beim Einbau des Goniometers darf das Goniometerkabel nur an die SubD-Buchse auf der Grundplatte des Experimentierraums angeschlossen werden, wenn das Grundgerät abgeschaltet ist.</u>**
**Ebenso darf beim Ausbau des Goniometers das Goniometerkabel nur bei ausgeschaltetem Grundgerät gelöst werden**.

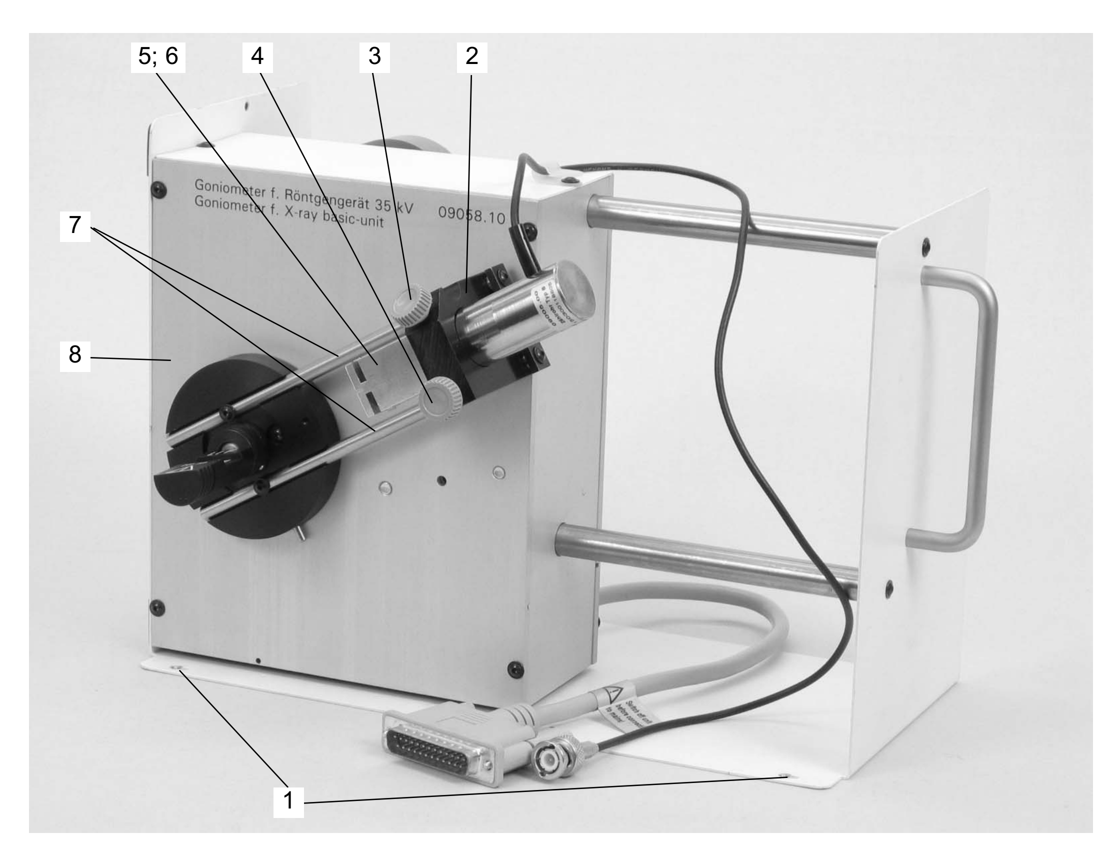



Abb. 7: Goniometer 09058.10

Das Goniometer ist mit Hilfe zweier Rändelschrauben (*1*) auf der Grundplatte des Experimentierraums zu fixieren.
Um den vollen Schwenkbereich von -10° bis +170° des Zählrohrhalters ausnutzen zu können, empfehlen wir den Einsatz des Geiger-Müller-Zählrohres Typ B (Best.-Nr. 09005.00). Das Zählrohr wird in den verschiebbaren Zählrohrhalter (*2*) auf Anschlag eingesetzt und mit der Rändelschraube (*3*) in diesem fixiert. Die Rändelschraube (*4*) des Halters dient zu dessen Arretierung auf seinen Führungsstangen. Der Zählrohrhalter ist mit einem Schlitzblendenträger (*5*) ausgestattet, der durch Lösen der hinteren Rändelschraube (*6*) bei Bedarf auch abgenommen werden kann. In den Blendenträger können auch Absorptionsfolien (Best.-Nr. 09056.02) eingesetzt werden.

Durch Verschieben des Zählrohrhalters auf seinen Führungsschienen (*7*) kann bei Bedarf die Winkelauflösung variiert werden. So erhält man eine maximale Winkelaulösung, wenn der Zählrohrhalter sich an seinem rechten Endanschlag befindet.

Auch der komplette Goniometerblock (*8*) kann in horizontaler Richtung verschoben werden. Damit eine reproduzierbare Verschiebung vorgenommen werden kann, ist die Basisplatte des Goniometers mit einem Schlitz versehen und die Frontplatte des Goniometerblocks unten mit einer Strichmarkierung gekennzeichnet. Steht der Goniometerblock äußerst rechts, beträgt der maximale Schwenkbereich des Zählrohrhalters 170°, steht der Block äußerst links, kann der Zählrohrhalter nur noch bis ca. 102° geschwenkt werden.
Je nach Zwischenstellung des Goniometerblocks betragen die Schwenkbereiche maximal ca. 135°, ca. 120° und ca. 112°, die auch im Automatikbetrieb bei versehentlich grösser gewählten Endwinkeln nicht überschritten werden. Diese Beschränkung der Schwenkbereiche bewirkt ein Lichtschrankensystem im Inneren des Goniometerblocks, sodass ein Anschlagen des Zählrohrs an die Innenwand des Gehäuses unterbunden wird.

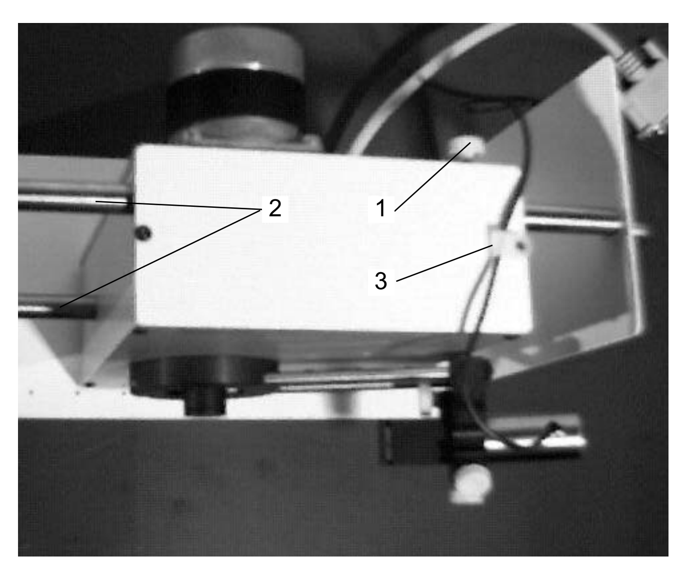



Abb. 7.1: Goniometerblock

Mit einer Rändelschraube (*1*) an der Rückwand des Goniometerblocks (Abb. 7.1) kann dieser auf seinen Führungsschienen (*2*) arretiert werden. Das Zählrohrkabel sollte zur besseren Führung in die Lasche (*3*) auf der Kopfseite des Blocks geklemmt werden.

## E HANDHABUNG

### 1. Einschalten des Gundgerätes

Durch Betätigung des rückseitigen Netzschalters.
Im Display wird kurzzeitig mit den Symbolen Fe, Cu oder Mo der eingesetzte Röhrentyp angezeigt.

### 2. Einsetzen und Wechsel eines Röntgenröhren-Einschubs

 **Vorsicht**

<u>**Vor einem Einschubwechsel ist zuerst mit Taste „HV-ON“ der Betrieb der Röntgenröhre zu unterbrechen.**</u>
Zum Ausbau eines Einschubs muss vor dem Herausziehen der unter dem Handgriff liegende Arretierungshebel angehoben werden. Zum Einsetzen eines Einschubs ist dieser mit seinen Führungslaschen in die Führungsschienen des Röhrenschachtes verkantungsfrei einzufügen. Damit alle Steckverbindungen sicheren Kontakt gewährleisten, ist der Einschub unter Anheben des Arretierungshebels bis zum Anschlag einzuschieben.

### 3. Inbetriebnahme der Röntgenröhre

#### 3.1 Erste Inbetriebnahme

 **Vorsicht**

Zur ersten Inbetriebnahme sollten Röntgenröhren nicht sofort mit maximaler Leistung betrieben werden. Zum Einlaufen der Röhren ist zu empfehlen, diese für eine Dauer von ca. 10 Minuten bei maximalem Strahlstrom aber mit einer Beschleunigungsspannung <u>**nicht über 25 kV**</u> zu betreiben.
Dieses Verfahren ist auch dann zu wiederholen, wenn eine Röhre über einen Zeitraum von einigen Wochen nicht benutzt worden ist.

#### 3.2 Einstellung der Röhrenbetriebswerte

 **Vorsicht**

<u>***Achtung:***</u> Nach Schließen und Verriegeln der Schiebetür muss aus Sicherheitsgründen zuerst der Verriegelungsknopf einmal ganz eingedrückt werden, um anschließend die Hochspannung aktivieren zu können.
Anodenspannung : Mit dem Taster “HV-I” die Funktion “HV” anwählen und mit dem Stellrad den gewünschten Spannungswert einstellen und anschliessend mit “Enter” bestätigen.
Anodenstrom: Mit dem Taster “HV-I” die Funktion “I” anwählen und mit dem Stellrad den gewünschten Anodenstromwert einstellen und anschliessend mit “Enter” bestätigen.
Die Röntgenröhre arbeitet erst nach Betätigung von “HV-ON” mit den eingestellten Betriebswerten. Die rote Signallampe als auch die Röntgenröhre leuchten. Röntgenstrahlen werden nun erzeugt.
Änderung der Röhrenbetriebswerte:
Eine Strom- und Spannungsänderung kann bei laufendem Röhrenbetrieb direkt vorgenommen werden.
Die neuen Werte müssen aber jeweils durch “ENTER” wieder übernommen werden.
Durch Betätigung des Tasters “HV-ON“ kann die Hochspannung wieder abgeschaltet werden.

### 4. Einstellung von Belichtungszeiten

Die gewünschten Werte für die Anodenspannung und für den Emissionsstrom einstellen und mit “ENTER” bestätigen. Mit “GATE-TIMER” die Funkton “TIMER” anwählen und mit dem

Stellrad die gewünschte Belichtungszeit einstellen und mit "Enter" bestätigen, anschliessend "HV-ON"-Taster betätigen, danach sofort mit "START" die Uhr (LED-Anzeige) starten. Die LED-Anzeige zeigt die verbleibende Belichtungszeit an. Nach Beendigung der Belichtungszeit schaltet die Röntgenröhre automatisch ab. Eine zwischenzeitliche Betätigung des "STOP"-Tasters hält nur die Uhr an, schaltet aber die Röhre und damit die Belichtung nicht ab.

## 5. Goniometerbetrieb

(Einbau des Goniometers s. Abschnitt D)

### 5.1 Manueller Betrieb

Drehung des Probenhalters oder des Zählrohrhalters jeweils allein: Zuerst mit "MAN-AUTO" die Betriebsart "MAN" wählen und dann mit dem Taster (Symbol für Kristall oder Zählrohr) den gewünschten Halter auswählen und mit "ENTER" bestätigen.

Zur Drehung von Probenhalter und Zählrohrhalter im 2:1-Winkelverhältnis mit dem Taster (Symbol für Kristall + Zählrohr) die gewünschte Betriebsart anwählen und wieder mit "ENTER" bestätigen.

Die Drehung erfolgt dann in beiden Fällen mit Hilfe des Stellrades.

### 5.2 Automatischer Betrieb

Die Betriebsart "AUTO" anwählen. Nacheinander die Funktionen "START" – "STOP" - "°/S" aktivieren und die gewünschten Werte wieder mit dem Stellrad einstellen. Nach jeder einzelnen Einstellung mit "ENTER" bestätigen.

Koppelmodus "(Symbol für Kristall + Zählrohr) anwählen und mit "START" die Drehung starten. Proben- und Zählrohrhalter durchfahren nun mit einer 2:1-Kopplung den gewählten Winkelbereich. "STOP" unterbricht die Drehung bei jeder beliebigen Winkelposition. Mit "START"wird die Drehung wieder fortgesetzt.

Mit "RESET" werden Proben- und Zählrohrhalter wieder in die Nulllage gebracht. Mit "START" kann erneut die Drehung ab dem zuvor gewählten Startwinkel wieder beginnen.

Die automatische Drehung von Proben- oder Zählrohrhalter jeweils allein erfolgt durch Anwahl der entsprechenden Funktionen.

Einstellung der Winkelschrittgeschwindigkeit (= Torzeit des Ratemeter):

Zuerst "MAN" und dann "GATE" anwählen, den gewünschten Wert mit dem Stellrad einstellen und mit "ENTER" bestätigen.

### 5.3 Nachjustierung der Goniometereinheit

In seltenen Fällen können Analysatorkristalle eine um einige 1/10° von der kristallographischen Hauptachse abweichende Fehlorientierung haben, sodass die charakteristischen Röntgenlinien nicht bei den theoretisch zu erwartenden Glanzwinkeln zu finden sind. Dieser Fehler kann folgendermassen korrigiert werden: Im manuellen Betriebsmodus ist der Analysatorkristall in die theoretische Glanzwinkelposition $\vartheta$ zu bringen (entsprechend das Zählrohr auf $2\vartheta$). Durch iteratives Drehen von Kristall und Zählrohr um wenige ±1/10° um diese Winkellagen ist nun das Intensitätsmaximum der Linie aufzusuchen. Danach wird im gekoppelten Modus der Kristallhalter wieder in die um den Winkelfehlbetrag korrigierte Nulllage gebracht, die anschließend wieder mit "ENTER" bestätigt werden muss.

(Beispiel: Das Intensitätsmaximum einer charakteristischen Röntgenlinie liegt um $\Delta\vartheta = \pm 0.X°$ über/unter dem theoret. Glanzwinkelwert. Dann ist die bisherige Nulllage um ±0.X° zu korrigieren und mit „ENTER" zu bestätigen. Im Display erscheint dann 000.0°).

Die neukonfigurierte Nulllage des Goniometersystems bleibt auch nach Abschalten des Röntgengerätes erhalten.

### 5.4 Datenausgabe

Zur Aufzeichnung mit einem x/y-Schreiber stehen an den Ausgangsbuchsen "Winkelsymbol" und "IMP/s" winkel- und zählratenproportionale Gleichspannungen zur Verfügung. Die Spannungen ändern sich nach jeder beendeten Torzeit (= Winkelschrittgeschwindigkeit).

Mit dem Taster (Symbol für Kristall oder Zählrohr) des Ausgabefeldes kann zwischen der Ausgangsspannung für die Winkelposition von Proben- oder Kristallhalter gewählt werden.

Beim Einschalten des Gerätes wird automatisch die Analogspannung für die Position des Probenhalters eingestellt.

## 6. Sicherungswechsel

Den in der rückseitigen Netzanschlusseinheit unter dem Netzschalter liegenden Sicherungshalter herausziehen und die defekte Sicherung durch eine Ersatzsicherung (siehe Typenschild) ersetzen. Beim Einschieben des Halters ist auf korrekten Sitz zu achten.

# F ZUBEBÖR

(nicht im Lieferumfang des Grundgerätes enthalten)

| | |
|---|---|
| LiF-Einkristall in Halter | 09056.05 |
| KBr-Einkristall in Halter | 09056.01 |
| NaCl-Einkristalle, Satz von 3 Stück | 09058.01 |
| Universalkristallhalter | 09058.02 |
| Absorptionssatz für Röntgenstrahlen | 09056.02 |
| Blendentubus mit Ni-Folie | 09056.03 |
| Blendentubus mit Zr-Folie | 09058.03 |
| Chemikaliensatz für Kantenabsorption | 09056.04 |
| Kondensatorplatten für Röntgengerät | 09058.05 |
| Comptonzusatz | 09058.04 |
| Modellader für Kontrastmittel | 09058.06 |
| Implantatmodell für Röntgenfotos | 09058.07 |
| Filmhalter | 09058.08 |
| Polaroidfilm ASA 3000/36DIN, 20 Stück | 09058.20 |
| Entwicklerkassette für Einzelfilm | 09058.21 |
| oder | |
| Filmtüte für Röntgenfilme, 10 Stück | 09058.22 |
| Röntgenfilm, nasschemisch, 100 Stück, 100 × 100 mm² | 09058.23 |
| Röntgenfilmentwickler, 5 l Gebinde, gebrauchsfertig | 09058.24 |
| Röntgenfilmfixierer, 5 l Gebinde, gebrauchsfertig | 09058.25 |
| alternativ | |
| Röntgen-Entwickler für 4,5l | 06696.20 |
| Röntgen-Fixiersalz für 4,5l | 06696.30 |
| Software für Röntgengerät 35 kV | 14407.61 |

## G EXPERIMENTHINWEISE

Alle Experimente können wahlweise mit den o.g. Röntgenröhren durchgeführt werden.

### 1. Laue- und Debye-Scherrer-Aufnahmen

Material

| | |
|---|---|
| Röntgengerät 35 kV, Grundgerät | 09058.99 |
| Einschub mit Cu-Röntgenröhre | 09058.50 |
| oder | |
| Einschub mit Mo-Röntgenröhre | 09058.60 |
| oder | |
| Einschub mit Fe-Röntgenröhre | 09058.70 |
| Kristallhalter f. Laue-Aufnahmen | 09058.11 |
| LiF-Einkristall in Halter | 09056.05 |
| oder | |
| NaCl-Einkristalle, Satz von 3 Stück | 09058.01 |
| Filmhalter | 09058.08 |
| Polaroidfilm ASA 3000/36DIN, 20 Stück | 09058.20 |
| Entwicklerkassette für Einzelfilm | 09058.21 |
| oder | |
| Filmtüte für Röntgenfilme, 10 Stück | 09058.22 |
| Röntgenfilm, nasschemisch, 100 Stück, 100 × 100 mm² | 09058.23 |
| Röntgenfilmentwickler, 5 l Gebinde, gebrauchsfertig | 09058.24 |
| Röntgenfilmfixierer, 5 l Gebinde, gebrauchsfertig | 09058.25 |
| alternativ | |
| Röntgen-Entwickler für 4,5 l | 06696.20 |
| Röntgen-Fixiersalz für 4,5 l | 06696.30 |

Experimentparameter:
Anodenspannung 35 kV, Anodenstrom 1 mA, Tubus mit Lochblenden ∅ 2 mm.

Laue-Aufnahmen:
Kristalle direkt vor den Blendentubus positionieren,
LiF-Kristall: Abstand Film-Kristall ca. 2 cm; Belichtungszeit ca. 15 min. mit Polaroidfilm ISO 3000/36°.

NaCl-Einkristalle:
Abstand Film-Einkristall ca. 3 cm; Belichtungszeit ca. 2 h mit Polaroidfilm ASA 3000/36DIN.

Debye-Scherrer-Aufnahmen:
Feingemörsertes polykristallines Pulver (z.B. KBr) ca. 0,2 mm dick zwischen zwei Tesastreifen vor den Blendentubus bringen. Abstand Probe-Film ca. 2 cm; Belichtungszeit ca. 2 h mit Polaroidfilm ASA 3000/36DIN.

### 2. Comptonstreuung

Material

| | |
|---|---|
| Röntgengerät 35 kV, Grundgerät | 09058.99 |
| Einschub mit Cu-Röntgenröhre | 09058.50 |
| oder | |
| Einschub mit Mo-Röntgenröhre | 09058.60 |
| oder | |
| Einschub mit Fe-Röntgenröhre | 09058.70 |
| Comptonzusatz | 09058.04 |
| Zählrohr Typ B | 09005.00 |
| Goniometer | 09058.10 |
| LiF-Kristall in Halter | 09056.05 |

An dem Plexiglasstreuer des Comptonzusatzes werden die Röntgenstrahlen um 90° gestreut und mit dem Zählrohr registriert. Danach wird der Aluminiumabsorber einmal vor den Streuer gestellt (1) und dann hinter dem Streuer auf die Führungsstangen vor das Zählrohr mit Schlitzadapter geklemmt (2).
Die Comptonwellenlänge wird aus den unterschiedlichen Transmissionswerten und aus der zuvor bestimmten Transmissionskurve für Aluminium bestimmt. Da die Zählraten relativ gering sind, sollten zur Reduzierung der statistischen Schwankungen jeweils immer einige tausend Impulse registriert werden und die zuvor bestimmte Untergrundstrahlung berücksichtigt werden. Zur Bestimmung der Transmissionskurve ist bei hohen Zählraten die Totzeit des Zählrohres zu beachten.
Experimentparameter:
Anodenspannung 35 kV, Anodenstrom 1 mA, Tubus mit Lochblenden 2 mm.

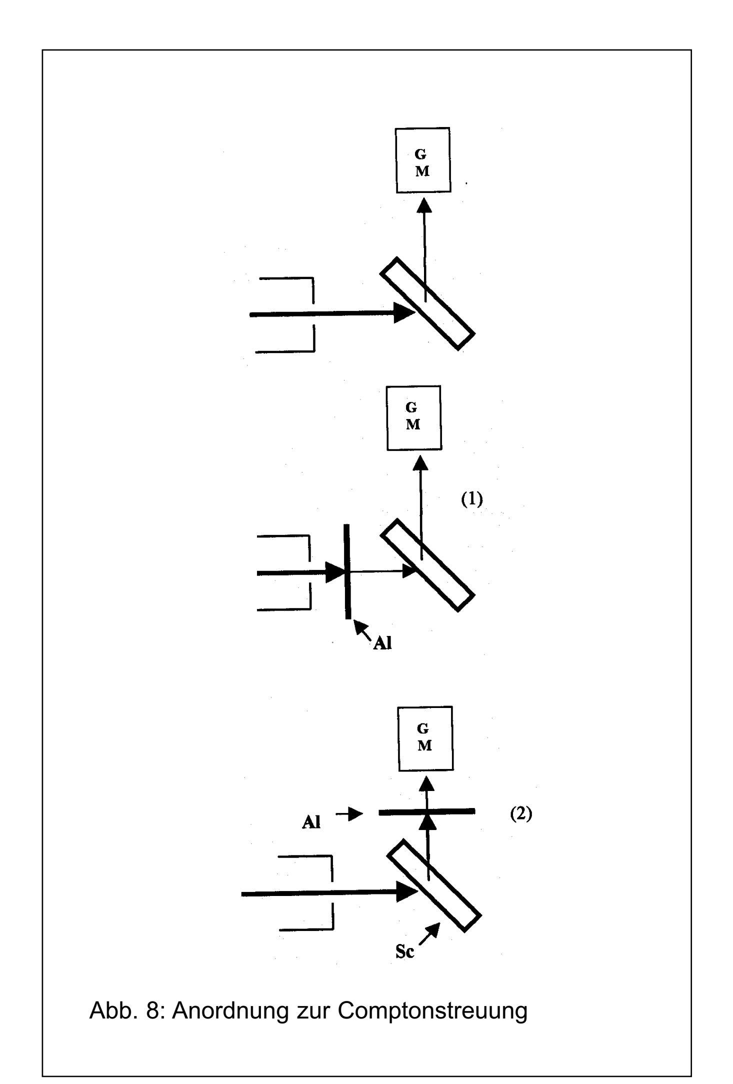



Abb. 8: Anordnung zur Comptonstreuung

### 3. Registrierung von Röntgenspektren

Material

| | |
|---|---|
| Röntgengerät 35 kV, Grundgerät | 09058.99 |
| Einschub mit Cu-Röntgenröhre | 09058.50 |
| oder | |
| Einschub mit Mo-Röntgenröhre | 09058.60 |
| oder | |
| Einschub mit Fe-Röntgenröhre | 09058.70 |
| | |
| Goniometer | 09058.10 |
| LiF-Kristall in Halter | 09056.05 |
| Zählrohr Typ B | 09005.00 |
| x/y-Schreiber | 11416.97 |
| Verbindungsleitungen , 100 cm (2x) | |
| oder | |
| Software | 14407.61 |
| Data-Kabel | 14602.00 |

Messbeispiele (Abb. 9):
Röntgenspektrum von Kupfer
Experimentparameter:
Anodenspannung 35 kV, Anodenstrom 1 mA; LiF-Analysator-kristall
Goniometer: Startwinkel 4.0° und Stoppwinkel 60.0° für Probenhalter, Winkelschrittweite 0,1°, Torzeit 1 s.
Blendentubus ∅ 2 mm.

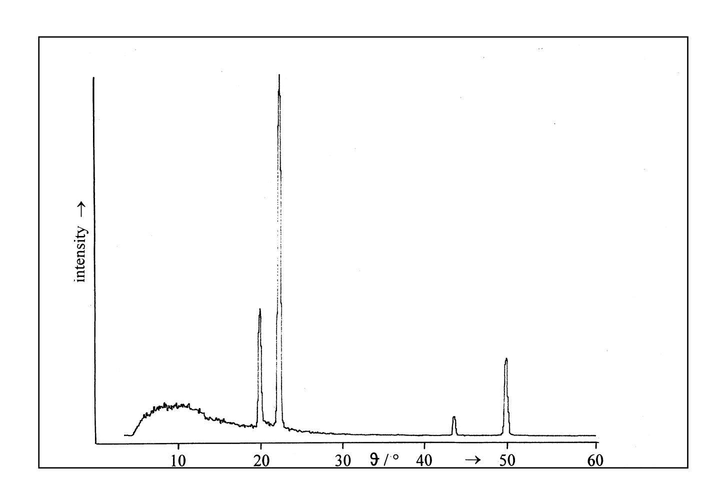



Abb. 9: Röntgenspektren von Kupfer

### 4. Monochromatisierung von Röntgenstrahlen

Material wie unter Pkt. 3, jedoch zusätzlich

| | |
|---|---|
| Blendentubus mit Ni-Folie (für Cu-Strahlung) | 09056.03 |
| Blendentubus mit Zr-Folie (für Mo-Strahlung) | 09058.03 |

Experimentparameter wie unter Pkt. 3.

### 5. Absorptionsexperimente

Material wie unter Pkt. 3, jedoch ohne Schreiber aber zusätzlich mit

| | |
|---|---|
| Absorptionsatz für Röntgenstrahlen | 09056.02 |

Bei verschiedenen Winkelpositionen (Wellenlängen) werden die Zählraten mit und ohne Absorbtionsfolien bestimmt. Die Absorberfolien werden in den Aufnahmeschlitz des Zählrohradapters gesteckt.

### 6. Ionisierungsvermögen von Röntgenstrahlen

Material

| | |
|---|---|
| Röntgengerät 35 kV, Grundgerät | 09058.99 |
| Einschub mit Cu-Röntgenröhre | 09058.50 |
| oder | |
| Einschub mit Mo-Röntgenröhre | 09058.60 |
| oder | |
| Einschub mit Fe-Röntgenröhre | 09058.70 |
| | |
| Kondensatorplatten f. Röntgengerät | 09058.05 |
| Netzgerät 0...600 V, geregelt | 13672.93 |
| Gleichstrommessverstärker | 13620.93 |
| Widerstand 50 MΩ | 07159.00 |
| Adapter BNC-Buchse/4mm-Stecker | 07542.20 |
| Abgeschirmtes Kabel BNC, l = 75 cm | 07542.11 |
| Digitalmultimeter (2x) | 07134.00 |
| Verbindungsleitungen | |

Der Plattenkondensator ist in die entsprechenden Buchsen des Experimenrierraumes (Abb. 3) einzusetzen, die mit dem gekennzeichneten Buchsenpaar des Bedienfeldes (Abb. 4) verbunden sind. Der Schaltungsaufbau erfolgt nach (Abb.10).

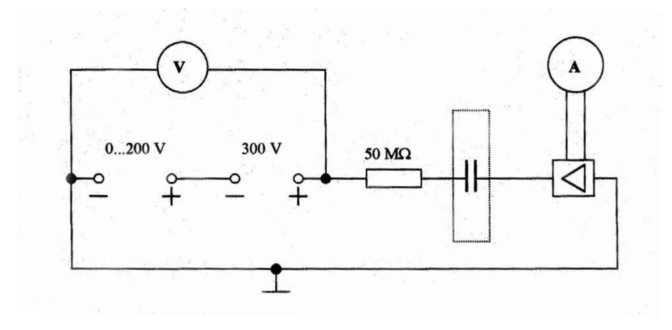



Abb. 10: Prinzipschaltbild zur Bestimmung von Ionenströmen

Der zu messende Ionisationsstrom ist eine Funktion der Anodenspannung und des Anodenstrom, des durchstrahlten Luftvolumens des Kondensators (durch Verwendung verschiedener Lochblendendurchmesser), der Saugspannung an den Kondensatorplatten (max. 500 V).

## H TECHNISCHE DATEN

| | |
|---|---|
| Röhren- und Goniometerbetrieb | Mikroprozessorsteuerung |
| Röhrenspannung (elektronisch geregelt) | 0,0...35,0 kV |
| Emissionsstrom (elektronisch geregelt) | 0,00...1,00 mA |
| eingebautes Ratemeter | |
| Zählrohrspannung | 500 V |
| Zählzeit (gate) | 0,5 s...100 s |
| Goniometer, schrittmotorgesteuert | |
| Betriebsarten | manuell od. automatisch für Proben- u. Zählrohrhalter und 2:1-Kopplung |
| Winkelschrittweite | 0,1°...10° |
| Winkelbereiche | Probenhalter 0...360°; Zählrohrhalter -10°...+170° |
| Winkelgeschwindigkeit | (0,5 s...100 s)/Winkelschritt |
| Scanbereiche | wählbar |

2 vierstell., 25 mm hohe Demo-Displays mit Diodenmatrizen zur wahlweisen Parallelanzeige von Betriebs-und Messwerten mit zugehörigen Einheiten für Röhrenspannung und Röhrenstrom,
Scananfang und Scanende, aktuelle Werte für Schrittweite, Winkelgeschwindigkeit und Winkelposition von Kristall oder Zählrohr; Imp/s

| | |
|---|---|
| Belichtungszeit f. Röntgenfotos | 1 min...1000 min |
| Ausgänge; 4 mm-Buchsenpaare | |
| Analogspannungen für Kristall- bzw. Zählrohrhalterposition | 10 mV/° bzw. 20 mV/° |
| Zählrate | 1V/2000 Imp/s |
| PC-Steuerung | SubD-Buchse |
| Eingang; 4 mm-Buchsenpaar | |
| zur Versorgung der Kondensatorplatten für Experimente zur Dosimetrie | max. 500 V |
| Experimentierraum | (370 x 357 x 280) mm |
| Leuchtschirm | (120 x 130) mm |
| Arbeitskanal (Querschnitt) | (17 x 20) mm |
| Innenraumleuchte | 24 V/10 W |
| Zubehörwanne (kopfseitig) | (260 x 250 x 6) mm |
| Gehäusemaße (L x B x H) | (595 x 335 x 465) mm |
| Anschluß | 110...240 VAC/50...60 Hz |
| Sicherung | siehe Typenschild |
| Leistungsaufnahme | 160 VA |
| Massen | |
| Grundgerät | 33 kg |
| Röhreneinschübe | je 4,3 kg |
| Goniometer | 4,1 kg |
| | |
| Bauartzulassungen | Nds. 601/01 Rö Vollschutzgerät<br>Nds. 602/01 Rö Schulröntgengerät |

## I ANHANG

### 1. Energieniveaus der verschiedenen Anodenmaterialien

| | $E_K$ / eV | $E_{L1}$ / eV | $E_{L2}$ / eV | $E_{L3}$ / eV | $E_{M1}$ / eV | $E_{M2/3}$ / eV | $E_{M2}$ / eV | $E_{M3}$ / eV |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Fe (Z = 26) | 7112.0 | 846.1 | 721.1 | 708.1 | 92.9 | 54.0 | - | - |
| Cu (Z = 29) | 8978.9 | 1096.1 | 951.0 | 931.4 | 119.8 | 73.6 | - | - |
| Mo (Z = 42) | 19999.5 | 2865.5 | 2625.1 | 2520.2 | 504.6 | - | 409.7 | 392.3 |

### 2. Charakteristische Röntgenlinien der verschiedenen Anodenmaterialien

| | E-K$\alpha_1$ / eV | E-K$\alpha_2$ / eV | E-K$\beta$ / eV | $\lambda$- K$\alpha_1$ / pm | $\lambda$- K$\alpha_2$ / pm | $\lambda$- K$\beta$ / pm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Fe (Z = 26) | 6404 | 6391 | 7058 | 194.00 | 193.60 | 175.66 |
| Cu (Z = 29) | 8048 | 8028 | 8905 | 154.05 | 154.44 | 139.23 |
| Mo (Z = 42) | 17479 | 17374 | 19599 | 70.93 | 71.36 | 63.26 |

### 3. Gitterkonstanten und Netzebenenabstände verschiedener Kristalle

| Kristall | Typ | $a_{(100)}$ / pm | $d_{(110)}$ / pm | $d_{(111)}$ / pm |
|---|---|---|---|---|
| LiF | fcc | 402.8 | 297.6 | 243.0 |
| KBr | fcc | 658.0 | 465.3 | 379.9 |
| NaCl | fcc | 564.1 | 398.8 | 325.6 |
| KCl | fcc | 629.3 | 444.1 | 362.6 |
| Cu | fcc | 361.5 | 255.6 | 208.7 |
| Al | fcc | 404.1 | 285.7 | 233.3 |
| Ta | bcc | 329.1 | 232.7 | 190.0 |
| Mo | bcc | 314.0 | 222.0 | 181.3 |
| Ge | Diamant | 565.8 | 400.1 | 326.7 |
| Si | Diamant | 543.1 | 384.0 | 313.6 |
| | | | | |
| | | a / pm | c/ pm | |
| Zn | hex. | 266.5 | 494.7 | |
| Graphit | hex. | 246.1 | 670.8 | |

### 4. Absorptionskanten einiger Elemente

| **Element** | **Z** | **$\lambda_K$ / pm** | | **Element** | **Z** | **$\lambda_K$ / pm** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Li | 3 | 22662.0 | | Zn | 30 | 128.3 |
| C | 6 | 4364.8 | | Ge | 32 | 111.6 |
| O | 8 | 2330.1 | | As | 33 | 104.4 |
| F | 9 | 1791.3 | | Se | 34 | 97.9 |
| Na | 11 | 1147.8 | | Br | 35 | 91.99 |
| Al | 13 | 795.1 | | Rb | 37 | 81.55 |
| Si | 14 | 674.46 | | Sr | 38 | 76.97 |
| S | 16 | 501.82 | | Mo | 42 | 61.98 |
| Cl | 17 | 439.69 | | Ag | 47 | 48.58 |
| K | 19 | 343.65 | | Sn | 50 | 42.47 |
| Mn | 25 | 189.6 | | W | 74 | 17.84 |
| Fe | 26 | 174.3 | | Au | 79 | 15.34 |
| Ni | 28 | 148.8 | | Hg | 80 | 14.92 |
| Cu | 29 | 138.0 | | Pb | 82 | 14.08 |
| | | | | Bi | 83 | 13.69 |

## 5. Massenschwächungskoeffizienten einiger Stoffe

| | Al Z=13 | Fe Z=26 | Cu Z=29 | Zn Z=30 | Ag Z=47 | Sn Z=50 | Pb Z=92 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\rho$ / g cm$^{-3}$ | 2.69 | 7.86 | 8.92 | 7.14 | 10.50 | 7.28 | 11.34 |
| $\lambda$ / pm | | | | | | | |
| 71 (Mo-K$\alpha$) | 5.2 | 38.5 | 51 | 58 | 28 | - | 140 |
| 154 (Cu-K$\alpha$) | 49 | 328 | 49 | 59 | 225 | 256 | 230 |
| 194 (Fe-K$\alpha$) | 94 | 71 | 98 | 115 | 410 | - | 420 |

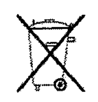
## J GARANTIEHINWEIS

Für das von uns gelieferte Gerät übernehmen wir innerhalb der EU eine Garantie von 24 Monaten, außerhalb der EU von 12 Monaten; sie umfasst nicht den natürlichen Verschleiß sowie Mängel, die durch unsachgemäße Behandlung entstehen.

Der Hersteller kann nur dann als verantwortlich für Funktion und sicherheitstechnische Eigenschaften des Gerätes betrachtet werden, wenn Instandhaltung, Instandsetzung und Änderungen daran von ihm selbst oder durch von ihm ausdrücklich hierfür ermächtigte Stellen ausgeführt werden.

## K ENTSORGUNG

Die Verpackung besteht überwiegend aus umweltverträglichen Materialien, die den örtlichen Recyclingstellen zugeführt werden sollten.



Dieses Produkt gehört nicht in die normale Müllentsorgung (Hausmüll).
Soll dieses Gerät entsorgt werden, so senden Sie es bitte zur fachgerechten Entsorgung an unten stehende Adresse.

PHYWE Systeme GmbH & Co. KG
Abteilung Kundendienst
Robert-Bosch-Breite 10
D-37079 Göttingen

Phone +49 (0) 551 604-274
Fax +49 (0) 551 604-246